

Biogén anyagok forgalmának vizsgálata a Balaton vízgyűjtő mezőgazdasági területein

MARTON ISTVÁN

Földművelésügyi és Vidékfejlesztési Minisztérium, Budapest

Bevezetés

Korunkat az a veszély fenyegeti, hogy egyrészt a természetes tisztaságú édesvizeink mennyisége csökken, másrészt pedig az emberi környezet világszerte fokozódó terhelése következtében minősége romlik, több célra hasznavehetetlenné válik.

Az 593 km² kiterjedésű és 196 km parthosszúságú kb. 20–22 ezer éves Balaton hazánk egyik legnagyobb jelentőségű természetes élővíz kincse. A négy medencére osztható tó hosszúsága 77 km, vízmennyisége átlagosan 1 800 millió m³. Átlagosan mélysége 3,36 m, így Európa legsekélyebb nagytava. Jól szemlélteti ezt, ha elképzeljük ezerszeres kicsinyítésben, amikor is a 77 m hosszú és 6–7 m széles vízfelület csupán 3 mm mélységű lenne.

A különösen nyáron rendkívüli méretű kommunális terheléshez képest hiányos infrastrukturális ellátottság, valamint a vízgyűjtőben folytatott gazdasági tevékenység az elmúlt években felgyorsította a tó elöregedési folyamatát és – elsősorban a nyugati medencében – a víz minőségének romlásához vezetett. A legfőbb veszélyt a gyors eutrofizáció, az algásodás jelenti.

A kedvezőtlen folyamatok visszaszorítását döntően a tóba kerülő biogén anyagok mennyiségének csökkentésével lehet elérni, ezzel korlátozva az eutrofizációt elsősorban előidéző algák életfeltételeit. A vízgyűjtőn folyó mezőgazdasági termelés nem elhanyagolható mértékben járul hozzá a terheléshez, ezért indokolt vizsgálni annak mértékét és arányait.

Anyag és módszer

A Balaton jellegzetesen különböző adottságú három részvízgyűjtőjén eltérő jellegű, de intenzív mezőgazdasági termelés folyik, amelynek anyagforgalmi vonatkozásai jelentős hatással vannak a vízminőségre (MARTON, 1990a). Szükséges tehát vizsgálni a biogén anyagok ciklusait globálisan, az experimentális vizsgálatok és a rendelkezésre álló adatok felhasználásával.

Az *Északi vízgyűjtő* mezőgazdasági területeinek 47,1 %-a szántó, amely az összes területnek csupán 23,9 %-át képezi. A gyepek aránya tíz százalékponttal kevesebb (37,2 %) de az átlagot így is jelentősen meghaladja. Rendkívül nagy arányú a szőlő- és gyümölcsültetvények területe (15,0 %).

A *Déli vízgyűjtő* hasznosításában a szántó részaránya a legmagasabb: 69,2 % a mezőgazdasági és 40,7 % az összes területből. Gyepterületek foglalják el a mezőgazdasági terület egy negyedét (24,6 %), míg a szőlő- és gyümölcsültetvények 5,8 %-át.

A *Nyugati vízgyűjtő* a legnagyobb területű, ahol a szántó a mezőgazdasági terület 65,6 %-án, az összes terület 36,9 %-án található. Az elsősorban völgyfenéken található gyepek 26,6 %-ot, és az ültetvények 6,5 %-ot tesznek ki a mezőgazdasági területből.

A vízgyűjtő működő agroökológiai rendszereinek, az ott folyó mezőgazdasági termelésnek a külső kapcsolatait leghatékonyabban a mérleg módszer alkalmazásával lehet vizsgálni. Az anyagforgalmi mérleg alkalmas lehet arra, hogy a zárt transzformációs ciklusokat megbontó és a környezetszennyezést eredményező kiágazások azonosíthatók legyenek és a szükséges beavatkozások tervezhetővé váljanak.

A mérlegek megítélésénél nagyon fontos SARKADI (1979) megállapítása, miszerint azok rendszerint kisebb-nagyobb hibával terheltek és ezért becslés jellegűek, ill. tendenciákat jeleznek. A pontosítás igényével fogalmazta meg DEBRECZENI (1987) az ökológiai körzetek jelentőségét.

A regionális és az ökológiai adottságokat figyelembe vevő publikációk között megkülönböztetett figyelmet érdemelnek MARKÓ (1987), MARTON (1997), MARTON és DÉR (1997, 1998), DEBRECZENI és SISÁK (1990), SISÁK (1993), HERODEK és munkatársai (1995) munkái, amelyek már jórészt a Balaton vízgyűjtőjéhez kötődve vizsgálták bizonyos területek tápanyag viszonyait, elsősorban a rendszeres vizsgálatba vont nagyüzemi táblák adataira alapozva.

A korábbi anyagmérleget alkalmazó vizsgálatok általában – a növénytáplálás érdekeit szolgáló felvételezések és megközelítések alapján – jórészt a növénytermesztés igényeinek kielégítésével összefüggésben az ott keletkező esetleges mobilizálódó többletek környezeti hatásainak becslésével ítélték meg az exponált terület helyzetét.

Munkánkban nem a termelés relatív maximumára törekvő tápanyagellátás esetleges következményeként kívánjuk meghatározni a rendszerből kikerülő biogén anyagok mennyiségét. Átfogó, az ökoszisztémák harmonikus belső transzformációját a középpontba állító módszertant kívántam kialakítani, amely a rendszer (tér) kibocsátásának limitjéből vezeti le az adott terület hasznosításának lehetőségét, módját és intenzitását.

A cél elérése érdekében anyagforgalmi modellt építettem fel a mezőgazdasági területek biogénelem-forgalmának leírására. Az áttekintett szakirodalomban leírt modellekhez képest figyelmemet nem a tápelem-hasznosulásra, hanem a veszteségekre összpontosítottam, mivel a Balaton terhelésének csökkentése

szempontjából az anyagforgalomnak azok a csomópontjai kínálnak beavatkozási lehetőséget ahol a veszteségek fellépnek.

A mérleg felállításakor – célnak megfelelően – gondosan számításba vettem minden olyan tényezőt, amely az inputok nagyságát meghatározhatja, a feltáródást és beépülést (vagyis a cikluson belüli folyamatokat) leírja, és így határozta meg a rendszer kibocsátásait, emisszióját.

A mérleg elkészítéséhez kialakítottam egy adatbázist, amely egyfelől az érintett és vizsgált területre vonatkozóan tartalmazza a talajok paramétereit és területi kiterjedését, másrészt a területek hasznosításának jellemzőit (agrotechnika, hozamok és hasznosításuk), valamint a transzformációs folyamatokat jellemző értékeket.

A *bevitel (input)* mennyiségének meghatározásához a modell a következők szerinti megfontolásokat és értékeket alkalmazza, felhasználva és integrálva az irodalmi adatokat :

+*Mt*: A műtrágyákkal talajba juttatott tápanyagok mennyisége a táblatorzs-könyvek, statisztikai adatok, kereskedelmi adatok alapján a különböző műtrágyák standard hatóanyag-tartalmával számítva kerül a rendszerbe. A figyelembe veendő mennyiségek vonatkozásában a növénytáplálási aspektusú mérlegekben egyes szerzők 60 %-os N- és K-, valamint 25 %-os P-hasznosulást írnak le (PUSZTAI, 1978; MINEEV, 1988). Modellünkben minden esetben a teljes mennyiséggel, mint input számolunk (hasonlóan KÁDÁR (1987), CSATHÓ (1994) és NÉMETH (1996) munkáihoz), tekintettel arra, hogy a hasznosulás hatásfoka az outputnál érvényesül, és értékrendünkben nem a produkció, hanem az anyagforgalom a legfontosabb szempont.

+*It*: Az istállótrágyával kijuttatott anyagokat – az istállótrágyázott területekre és a felhasznált mennyiségekre vonatkozó adatok bizonytalanságából adódó nehézségeket is figyelembe véve – az állatlétszám után számított mennyiségekkel és annak átlagolt beltartalmi értékeivel vettük számításba. A trágyázásra és a felhasznált mennyiségekre vonatkozó adatokkal szemben az állatszámolás adatai ugyanis sokkal megbízhatóbbak. Az ilyen történő eljárás egalizálja a tartási módból adódó bizonytalanságot is, ugyanakkor a jelentéktelen kivétel a vizsgált térségből elhanyagolható. A tápanyagtartalomra vonatkozóan elfogadtuk több szerző (SARKADI, 1975; KÁDÁR, 1979; DEBRECZENI, 1987; MARKÓ, 1986) egybehangzó meghatározását, mely szerint 0,5–0,25–0,6 kg NPK számítható 100 kg vegyes állatfajú szerves trágya után.

Az egyéb szerves trágyaként kezelendő gyökér- és egyéb növényi szervesanyag-maradványok értékelését differenciáltan ítéltük meg, tekintettel arra, hogy csak a főtermék kerül ki a rendszerből és így a gyökér- és szármарadványok gyakorlatilag csak a megkötött energiával és szénhidrátokkal dúsítják a talajt. Az általunk preferált elemek mérlegére elhanyagolható hatással vannak. Tehát egyetértve KÖSTNER és munkatársai (1988), WOODS és munkatársai (1983) és ROBERTS (1987) módszerével, mi is figyelmen kívül hagytuk a gyökér- és egyéb növényi szervesanyag-maradványok tápanyagtartalmát.

+N_k: A biogén elemek bevitelének jelentős és perspektivikus tényezője a légköri nitrogénkötés, amely lehet szimbiotikus és nem szimbiotikus. A szimbiotikus N-kötés – hüvelyesek és pillangósok gyökérzetén élő mikroszervezetek által realizált – mennyiségére vonatkozóan különböző megközelítések vannak. Az egyik irányzat viszonyszámokat ad meg a terméshez arányosítva (DEBRECZENI, 1987; MARKÓ, 1986; MINEEV, 1988), míg mások növénycsoportonként átlagértékeket határoznak meg (ANTAL et al., 1979; SARKADI, 1975; GYÖRI, 1984; ISERMANN, 1990). Valamennyi adat összevont értékelésével a modellben élő pillangósok esetében 60 kg/ha, míg az egynyáriaknál 30 kg/ha értékkel számolunk.

A szabadon élő N-kötő mikroorganizmusokra vonatkozóan a publikált értékek jelentős szóródást mutathatnak: GYÖRI (1984) szerint 0–64 kg/ha, azonban más szerzők zömmel 3–10 kg/ha között (DEBRECZENI, 1987; MARKÓ, 1986; MINEEV, 1988) határozták meg az így megkötött nitrogén fajlagos mennyiségét. A modellben 6 kg/ha értéket veszünk számításba.

+K_{ii}: A talajfelszínen kiülepedő tápanyagok közül elsősorban a nitrogénnek van jelentősége (DEBRECZENI, 1978; SARKADI, 1979; GYÖRI, 1984; LÁNG, 1985; MARKÓ, 1986; MINEEV, 1988), jóllehet vannak adatok a foszfor vonatkozásában is (WOODS et al., 1983; SOMLYÓDI, 1983; MINEEV, 1988), de azok közel egy nagyságrenddel kisebb értékeket mutatnak. A nitrogén volumenekre vonatkozóan a régió emissziós forrásaitól függően nagy eltérések vannak.

A modellben mindezek alapján csak a nitrogénnel számoltunk, különbséget téve a három vízgyűjtő között. Az ipari szennyező forrásokkal legjobban érintett északi vízgyűjtőn 10 kg/ha, a kevésbé exponált délin 6 kg/ha, míg a nyugatin 3 kg/ha értéket vettünk figyelembe.

+K_t: Az egyéb szerves trágyák (komposztok, szennyvíziszapok) vonatkozásában a szakirodalom kevés adatot tartalmaz (általában nem szerepeltetik a mérlegekben). Az egyéb szerves trágyák mennyiségét és összetételét a fellelhető adatok alapján határoztuk meg, feltételezve, hogy a vizsgált térségben keletkező humán eredetű szennyvíziszap 50 %-a komposztálással, tözeges feldolgozással vagy bármilyen más módon visszakerül a területre. 1 főre évi 35 kg szárazanyagot számítottunk 1,0–0,25–0,2 %-os NPK-tartalommal.

+V_m: A jellemző vetésszerkezet és az alkalmazott agrotechnika függvényében vizsgáltuk a vetőmaggal bekerülő biogén anyagok mennyiségét. A rendelkezésre álló adatok és irodalmi források (SARKADI, 1979; MINEEV, 1988; DEBRECZENI & DEBRECZENINÉ, 1994) aggregálásával alakítottuk ki azokat az átlagértékeket, amelyeket a számításoknál elfogadhatónak ítéltünk. A felhasznált teljes vetőmagmennyiség után 3–1–1 kg NPK/100 kg inputját vettük figyelembe.

+: A talajképző kőzetből a talajosodással feltáródó tápanyagokkal is számol néhány szerző (SARKADI, 1975; PUSZTAI, 1978; DEBRECZENI, 1987), míg mások ezt a tényezőt figyelmen kívül hagyják. Tekintettel arra, hogy az adatbázis elsődlegesen tendencia jellegű adatokat tartalmaz és egzakt módon nem adap-

tálható, így nem számoltunk ezzel a forrással. Az erózióval felszínre vagy felszín közelbe kerülő alapkőzetek felgyorsuló mállása növekvő fontosságot ad az innen származó tápanyagoknak, ezért a későbbiekben a módszer fejlesztése során feltétlenül be kell építeni ezt tényezőt is.

A kiadási (*output*) oldalon a következő tényezők fajlagos értékeit vettük számításba:

-*bT* : A vizsgált tápanyagmérleg legfontosabb kiadási tétele egyértelműen a növények által kivont tápanyagmennyiség. A területről betakarított termés beltartalmára vonatkozóan nagyon eltérőek a rendelkezésre álló adatok. A tápanyagtartalomra vonatkozóan több szerző és szerzői kollektíva (SARKADI, 1975; KÁDÁR, 1979, 1992; ANTAL et. al., 1979) közöl esetenként nemzetközi adatokat. Jelentősnek ítéltük egyrészt az adatok frissességét (fajtaváltás), másrészt az elsősorban talajtípushoz kötődő regionális differenciákat, ezért elsősorban az Országos Műtrágyázási Tartamkísérletek vonatkozó adatainak felhasználásával alakítottunk ki az adaptált fajlagos értékeket (DEBRECENI & DEBRECZENINÉ, 1994).

A kivonás volumenének meghatározásánál a szerzők jelentős része a fő- és melléktermék teljes mennyiségével – mint kivont tápanyaggal – számol (SARKADI, 1979; DEBRECZENI, 1987; DEBRECZENI & DEBRECZENINÉ, 1994; GYŐRI, 1984; MINEEV, 1988; KÁDÁR, 1979, 1992; MARKÓ, 1986). Néhányan azonban a takarmánynövények és a melléktermékek mennyiségét – tekintettel arra, hogy a területen kerül felhasználásra – nem veszik számításba. Modelünkben csak a betakarított főtermékkel lekerülő tápanyagokat vettük figyelembe, miután a területen maradó melléktermékek inputként sem kerültek be, míg a takarmánynövények és az alom recirkulációját pedig a szerves trágyáknál vettük számításba.

-*fL*: A felszíni lemosódás, az erózió, a tápanyagmérleg második legjelentősebb tétele, amely direkt módon összefügg a Balaton vízminőségével. A kérdésnek jelentős irodalma van, amelyben nagy eltérésekkel állapítják meg az elmozduló részecskék és az azokhoz kötött tápanyag volumenét. Az elsősorban táblaszintű mérlegekben nagy szóródás tapasztalható és az értékek magasak: 0–34 kg N/ha, 1,5–18,7 kg P/ha és 3–8 kg K/ha veszteségeket írnak le (DEBRECZENI, 1987; TÓTH, 1984; WOODS et al., 1983; NÉMETH, 1996). Ezek az eltérések – a dolog természetéből adódóan – a táblaszinten rendkívüli heterogenitást mutató tényezőknek köszönhetőek.

Sokkal kiegyenlítettebbek a vízgyűjtőkre készült komplex vizsgálatok (JOÓ, 1980; HORVÁTH & KAMARÁS, 1990; MARTON, 1990B; HORVÁTH, 1996), amelyek részvízgyűjtőnként vizsgálták az elmozduló anyagmennyiségeket. Az erózió mértékére és az azzal elmozduló tápanyagokra vonatkozóan a legjobb összegző adatsort a Balaton vízgyűjtőre készült meliorációs keretterv tartalmazza, amelynek az 1984. és 1995. évi, illetve a tervezett állapotra vonatkozó adatai kerültek a modellünkbe.

-kM: A talajok vízgazdálkodási tulajdonságai döntően befolyásolják a tápanyagok kimosódásának mértékét. A kimosódás elsődlegesen a nitrogén (NÉMETH, 1995) esetében bír jelentőséggel, azonban vannak adatok a foszforra és káliumra vonatkozóan is. Több szerző (LENDVAI et al., 1983; TÓTH, 1984; DEBRECZENI, 1987; MINEEV, 1988) adatait értékelve elfogadtuk DEBRECZENI megállapítását és azzal egyezően kötött talajokon 20 kg/ha, míg homokon 50 kg/ha N-kimosódást vettünk figyelembe.

-dN: A talajok szerkezetével és vízgazdálkodásával összefüggésben jelenhet meg a denitrifikációs és a dezaminációs veszteség, amely nagyságát nagyon eltérően ítélik meg a szakirodalomban. Van aki nem számol ezzel a tétellel (KÁDÁR, 1979, 1992; DEBRECZENI, 1978; DEBRECZENI, 1987; GYÓRI, 1984) míg mások a N-műtrágyákhoz viszonyított arányszámokban adják meg ezt a veszteséget (MARKÓ, 1986; MINEEV, 1988). Modellünkben – az utóbbiakkal egyetértve – az átlagosan felhasznált N-műtrágya-hatóanyag 10 %-a jelenik meg outputként.

A kialakított biogénelem-forgalmi modell tehát a következő képlettel írható le:

$$ME = Mt + It + Nk + Kü + Kt + Vm - bT - fL - kM - dN$$

ahol:

<i>ME</i>	a mérlegegyenleg (pozitív vagy negatív);
<i>+Mt</i>	a műtrágya-hatóanyag mennyisége;
<i>+It</i>	az istállótrágya hatóanyag-tartalma;
<i>+Nk</i>	a nitrogénkötés mennyisége;
<i>+Kü</i>	a kiülepedés mennyisége;
<i>+Kt</i>	a komposzttrágya hatóanyag-tartalma;
<i>+Vm</i>	a vetőmagvak tápanyagtartalma;
<i>-bT</i>	a betakarított termés tápanyagtartalma;
<i>-fL</i>	a felszíni lemosódás tápanyagtartalma;
<i>-kM</i>	a kimosódó tápanyag mennyisége;
<i>-dN</i>	a denitrifikáció, dezamináció mennyisége.

A megszerkesztett modell algoritmusát kidolgoztuk számítógépes szoftver formájában. A program alkalmas bármely vízgyűjtőterület mezőgazdasági földhasználatának biogénanyag-forgalmát jó hatásfokkal szimulálni.

Eredmények

A módszer adaptációs vizsgálata során a három részvízgyűjtőre háromféle feltételrendszer feldolgozásával végeztünk futtatást. Vizsgáltuk az intenzív termeléssel jellemezhető 1985. évi adatokkal, a jelenlegi (1995) lényegesen alacsonyabb intenzitású feltételekkel és az optimalizált fejlesztési lehetőségeknek – a fenntartható agrár-környezetgazdálkodásnak – megfelelő értékekkel feltöltött adatbázis betáplálásával nyert eredményeket.

Az időszíkok jellemzése

Intenzív termelés (1985)

A nyolcvanas évek közepén a magyar mezőgazdaság jelentős eredményeket ért el és ez volt legintenzívebb időszaka. A technológiai elemek, a termelési rendszerek közreműködésével jól összehangolt rendszerben – jelentős ráfordításokkal – realizálták a potenciális lehetőségeket. Az investíció szintje az „iparszerű” mezőgazdasági termeléstől biztonságosan elérhető, rendszeresen magas színvonalú termelést követelt meg.

A korszak tápanyag-gazdálkodásában általában – és a Balaton vízgyűjtőjén is – a magas állatlétszám melletti visszafogott istállótrágya-felhasználás és a nagyon intenzív műtrágyázás volt a jellemző. A szimbiotikus N-kötésben meghatározó pillangósok jelentős területeket foglaltak el, összefüggésben a kérődzők nagy létszámával (1. táblázat).

A jó, esetenként „túl jó” tápanyagellátású területeken magas fajlagos hozamok realizálódtak a mezőgazdaságban. A szántó centrikus agrárhasznosítás és a nagyteljesítményű gépek által determinált táblásítás következtében kialakított nagy táblák együttes hatására jelentős erózió jelentkezett ebben az időszakban. Tovább rontotta a helyzetet a lefolyási útvonalakat lerövidítő meliorációs szemlélet, amely a mezőgazdasági területeken megjelenő csapadékvizek minél gyorsabban történő elvezetését favorizálta.

Meghatározó input tényezőként a teljes vízgyűjtőn összesen 71 644 tonna NPK-tartalmú műtrágyát használtak fel, aminek 39,9 %-a volt N-, 26,9 %-a P- és 33,2 %-a pedig K. A fajlagos értékeket tekintve ez azt jelentette, hogy 1 ha mezőgazdasági területre 90,1 kg N, 60,7 kg P és 74,7 kg K – vagyis összesen 225,5 kg vegyes tápanyag – került kiszórásra. A részvízgyűjtők közül az északiban használták a legtöbb műtrágyát (250,0 kg/ha), míg a déli és a nyugati vízgyűjtőben közel azonos mennyiség (226,2 ill. 217,3 kg/ha) került kiszórásra.

A szerves trágyát szolgáltató állatállomány jelentős volt ebben az időszakban. A legnagyobb volument a szarvasmarha-állomány jelentette (43 345 db tehén), ami 13,64 db-ot jelent száz hektár mezőgazdaságilag művelt területre vetítve. A részvízgyűjtők között jelentős volt ebben az időszakban az eltérés. A nyugatiban volt a legnagyobb a területegységre jutó állomány (17,89 db/100 ha MMÖT), míg az északiban kevesebb mint a fele (7,6 db/100 ha MMÖT) és a déliben is alig több annál (9,50 db/100 ha MMÖT).

A sertésállományban (199 247 db) és a fajlagos értékben (62,71 db/100 ha MMÖT) még nagyobbak a különbségek: míg nyugaton 84,82 db jut 100 ha mezőgazdasági területre, addig délen 53,85 db, és északon csupán tized része a nyugatinak (8,38 db).

Az állatállomány összetételének megfelelően jelentős a vetésszerkezetben a pillangósok részaránya (6,95 %). Érdekes módon a részvízgyűjtőkön belüli arányokban kisebb a differencia, mint a szarvasmarha-állományban. Valószínűleg a gyepek aránya és hasznosításuk különbségeiben van a magyarázat. A búza

1. táblázat
A biogénanyag-forralmi modell (1985) adatai

(1) Megnevezés	(2) Nyugati	(3) Északi	(4) Déli	(5) Balatoni vízgyűjtő együtt
	vízgyűjtő			
<i>A. Felhasznált műtrágya (t)</i>				
Nitrogén (N)	14.693	5.043	8.882	28.618
Foszfor (P)	9.991	3.716	5.570	19.277
Kálium (K)	12.011	4.512	7.226	23.749
<i>B. Állatállomány (db)</i>				
a) Szarvasmarha (tehén)	30.210	4.034	9.099	43.345
b) Sertés	143.200	4.447	51.600	199.247
c) Ló (húsló)	2.000	247	907	3.154
d) Kiskérődző (juh, szarvas)	6.540	17.178	8.117	31.835
e) Baromfi	1130.000	79.777	165.938	1375.715
<i>C. Pillangós terület (ha)</i>				
f) Évelő	6.477	2.258	3.853	12.963
g) Egyéves	780	246	1.363	2.391
<i>D. Mezőgazdaságilag művelt terület MMÖT (ha)</i>	168.823	53.083	95.819	317.725
<i>E. Lakosság létszáma (fő)</i>	216.430	53.895	59.842	330.167
<i>F. Főbb növények területe (ha)</i>				
h) Búza	31.787	7.995	22.377	62.159
i) Árpa	8.558	2.876	3.566	15.000
j) Rozs + triticales	390	460	2.241	3.081
k) Kukorica	17.829	1.977	16.860	36.666
l) Napraforgó	1.732	1.476	5.164	8.372
m) Repce	7.437	1.717	1.352	10.506
n) Lucerna	4.585	1.678	2.828	9.091
o) Silókukorica	9.577	2.258	5.050	16.885
<i>G. Eróziós talajvesztesség (t)</i>	2568.300	984.226	998.200	4550.726

pontosan egyharmadát (33,34 %) foglalja el a vetésterületnek és nagyon ki-
egyenlített, csaknem azonos mindhárom részvízgyűjtőben a részaránya. A má-
sodik legnagyobb „tápanyagfogyasztó” – a kukorica – csaknem húsz százalé-
kal (19,67 %) részesül. Ennél a növényenél azonban az adottságok és az állat-
állomány összetételének különbségei folytán nagyok az eltérések a részvíz-
gyűjtők között. A legmagasabb a déli vízgyűjtőben (27,43 %), ettől elmarad a
nyugati (17,51), ahol a természeti adottságok a kalászos abraktakarmányoknak
(árpa 8,41%) kedveznek, míg az adottságok és az abrakfogyasztók alacsony

létszáma egyaránt magyarázza az északi medence legalacsonyabb értékét (8,55 %) (2. táblázat).

2. táblázat

Vetésterület/ha és termésátlagok (t/ha) a Balaton három vízgyűjtőn (1985)

(1) Megnevezés	(2) Nyugati vízgyűjtő		(3) Északi vízgyűjtő		(4) Déli vízgyűjtő		(5) Balaton együtt	
	ha	t/ha	ha	t/ha	ha	t/ha	ha	t/ha
a) Búza	31,78	3,6	7.995	4,1	22.377	4,2	62.159	3,88
b) Őszi árpa	5.502	3,4	2.231	3,8	2.582	4,1	10.315	3,66
c) Tavaszi árpa	3.056	3,1	645	3,2	984	3,8	4.685	3,26
d) Róz+triticale	380	2,0	460	3,0	2.241	2,0	3.081	2,15
e) Zab	4.381	3,0	136	2,8	828	3,1	5.345	3,16
f) Kukorica	17.829	5,2	1.977	4,5	16.860	5,7	36.666	5,39
g) Napraforgó	1.732	2,0	1.476	2,2	5.164	1,8	8.372	1,91
h) Repce	7.437	1,8	1.717	3,1	1.352	1,7	10.506	2,00
i) Cukorrépa	1.223	32,5	-	-	780	31,8	2.003	32,23
j) Burgonya	1.762	16,6	140	16,2	1.250	21,2	3.152	18,41
k) Borsó	210	2,6	246	2,4	1.050	2,5	1.786	1,87
l) Zöldség	755	4,6	321	4,2	832	3,6	1.908	4,10
m) Silókukorica	9.577	23,2	2.258	20,8	5.050	20,7	16.885	22,13
n) Takarm. kev.	6.450	11,9	1.200	12,1	2.487	13,1	10.137	12,22
o) Lucerna	4.585	6,1	1.678	5,6	2.828	4,7	9.091	5,57
p) Vöröshere	1.892	4,8	580	4,2	1.025	4,5	3.497	4,63
r) Gyep(széna)	41.564	1,3	18.182	1,2	20.556	1,3	80.302	1,28
s) Szőlő	5.224	3,0	6.411	8,0	3.904	5,6	15.539	5,72
t) Gyümölcs	8.620	4,3	3.132	3,5	2.288	5,4	14.040	4,30

Az outputok mintegy hatvan százalékát meghatározó eróziós talajvesztesség átlaga 14,32 t/ha MMÖT, ami hektáronként 28,65 kg/ha foszfor lemosódását jelenti. A vízgyűjtőnkénti fajlagos mutatók szignifikáns differenciát mutatnak, miszerint az északi vízgyűjtőben a talajvesztesség a legnagyobb (18,54 t/ha MMÖT), míg a legkisebb a déli vízgyűjtőben (10,42 t/ha), és a kettő között helyezkedik el a nyugati vízgyűjtő a maga 15,21 t/ha értékével. A P-vesztések arányosan követik ezt a tendenciát, így északon 37,08 kg/ha, nyugaton 30,43 kg/ha és délen 20,84 kg/ha.

Alacsony intenzitású termelés (1995)

A mezőgazdaság gyors ütemű strukturális átalakítása azt eredményezte, hogy a termelési ráfordítások a kilencvenes évek közepére töredékükre estek vissza és ez a folyamat jelentősen befolyásolta a biogén anyagok inputját is. A műtrágya-felhasználás volumene kevesebb mint egy harmada az 1985. évinek

és a hatóanyag struktúrában a N részaránya 75–80 %-ra nőtt a korábbi 30–35%-ról. A másik meghatározó beviteli forrás az istállótrágya mennyisége ugyancsak töredéke a vizsgált korábbi időszaknak az állatlétszám drasztikus csökkenése következtében. A kérődzők létszámával arányosan, sőt esetenként azt meghaladóan csökkent a N-kötő pillangósok területe. Összességében tehát az input jelentősen csökkent.

3. táblázat
A biogénanyag-forgalmi modell (1995) adatai

(1) Megnevezés	(2) Nyugati	(3) Északi	(4) Déli	(5) Balatoni vízgyűjtő együtt
	vízgyűjtő			
<i>A. Felhasznált műtrágya (t)</i>				
Nitrogén (N)	8.033	2.534	5.088	15.655
Foszfor (P)	1.178	507	848	2.533
Kálium (K)	1.500	579	1.131	3.210
<i>B. Állatállomány (db)</i>				
a) Szarvasmarha (tehén)	11.022	2.100	4.390	17.512
b) Sertés	69.658	5.400	14.350	89.408
c) Ló (húsló)	600	640	632	1.872
d) Kiskérődző (juh, szarvas)	-	10.550	19.300	29.850
e) Baromfi	269.375	19.000	138.000	426.375
<i>C. Pillangós terület (ha)</i>				
f) Évelő	2.537	791	1.200	4.528
g) Egyéves	528	280	1.000	1.708
<i>D. Mezőgazdaságilag művelt terület MMÖT (ha)</i>	153.569	48.039	85.180	286.788
<i>E. Lakosság létszáma (fő)</i>	212.830	54.320	57.768	324.918
<i>F. Főbb növények területe (ha)</i>				
h) Búza	16.514	7.920	16.920	41.354
i) Árpa	12.486	3.245	4.450	20.181
j) Rozs + triticales	3.696	850	2.120	6.666
k) Kukorica	19.756	1.810	15.680	37.246
l) Napraforgó	4.058	1.450	4.950	10.458
m) Repce	2.286	1.600	1.980	5.866
n) Lucerna	1.943	726	1.120	3.789
o) Silókukorica	4.424	385	3.820	8.639
<i>G. Eróziós talajvesztesség (t)</i>	2115.800	849.000	929.900	3894.700

A termelési szerkezetben nőtt a kukorica részaránya és csökkent a tömeg-takarmányok területe. A hozamok jelentősen csökkentek és megnőtt a parlag-területek aránya. Mindez, valamint a karbantartás hiányában feliszapolódott vízelvezető rendszerek működési hiányosságai egyfelől csökkentett output-mennyiségeket és fokozott víztározást ill. gátolt lefolyást eredményeztek. A termelés térszerkezetében és a földhasználatban (művelési ágak, talajművelés, táblásítás) nem történt meghatározó változás, tehát a tábláról erózióval elmozduló talaj mennyisége csak kis mértékben csökkent (3. és 4. táblázat).

A vízgyűjtőre vonatkozó adatok begyűjtése erre az időszakra vonatkozóan sok nehézséggel járt, miután a nyilvántartási rendszerek jelentős mértékben megváltoztak. A feldolgozott adatok jelentős része a fellelhető statisztikai adatok közvetlen adatgyűjtéssel korrigált kritikai értékelésével kerültek meghatározásra.

A műtrágya-felhasználás több mint 2/3-ával csökkent az 1985. évihez viszonyítva, annak csupán 28,87 %-a (21 398 t) volt ekkor a felhasznált összes mennyiség. A vízgyűjtők közül a legnagyobb csökkenés az északi vízgyűjtőben következett be, ahol a korábbi időszak értékének csupán 27,28 %-a került kiszámításra. A fajlagos értékekben hasonló tendencia jelentkezett ebben a periódusban. A Balaton vízgyűjtő átlaga 74,6 kg/ha értéket mutat, amin belül a legmagasabb értékkel a déli (83,0 kg/ha), majd az északi (75,4 kg/ha), és végül a nyugati (69,8 kg/ha) következnek.

A hatóanyagok megoszlását tekintve nagyon jelentősek voltak a változások. Egyértelműen a korábbi időszak feltöltő műtrágyázására alapozva, a P- és K-készletekre számítva, azok felhasználásának mennyisége jelentősen, míg a nitrogéné kisebb mértékben csökkent. A korábbi 1:0,67:0,83 NPK arány 1:0,16:0,21-re módosult. Ez azt jelenti, hogy a nitrogén 39,9 %-os részaránya 73,2 %-ra változott, a foszforé 26,9 %-ról 11,8 %-ra, ill. a káliumé 33,2 %-ról 15,0 %-ra. A felhasználás fajlagosan így 1 ha MMÖT-re vonatkoztatva 54,6 kg N, 8,8 kg P és 11,2 kg K értéket mutatnak. A vízgyűjtőkön azonos tendencia érvényesült.

A második legnagyobb input forrás – az istállótrágyát „termelő” állatállomány – vonatkozásában hasonlóan drasztikus változások mentek végbe, aminek eredményeként az állatlétszám kevesebb lett a korábbi 50 %-ánál. A meghatározó tehénlétszám 17 512 db-ra csökkent, amely az előző időszak értékének 40,4 %-a. A sertésállomány hasonlóan csak 44,87 %-a az 1985. évinek. A legnagyobb csökkenés mindkét állatfaj vonatkozásában a nyugati vízgyűjtőben volt, ahol a fajlagos értékek mindkét időszakban még így is a legmagasabb értékeket mutatták. A 100 ha MMÖT-re tehénből a nyugati vízgyűjtőn 7,18 db, a délin 5,15 db és az északon pedig 4,37 db volt található, míg sertésből a nyugatin 45,36 db, a délin 16,85 db és az északon 11,24 db.

A vetésszerkezetben az állatállomány változásának megfelelően csökkent a N-kötő pillangósok területe a korábbi időszak 34,93 %-ára és így a vetésterületnek már csak a 2,63 %-át foglalta el. A legnagyobb területet elfoglaló gabonafélék közül csökkent a kalászosok, azon belül is a búza részaránya (24,0 %-ra)

és nőtt a kukoricáé 21,62 %-ra. A változások lényegében a nyugati vízgyűjtőben játszódtak, ahol a búza területe jelentősen (17,82 %-ra) esett vissza és a kukorica a vízgyűjtő átlagára (21,32 %) állt be. Az arányok változása mellett a terméseredményekben jelentkező depresszió is érzékelhető a hozamok esetenkénti 5–10 %-os csökkenésében (4. táblázat).

4. táblázat

Vetésterület/ha és termésátlagok (t/ha) a Balaton három vízgyűjtőn (1995)

(1) Megnevezés	(2) Nyugati vízgyűjtő		(3) Északi vízgyűjtő		(4) Déli vízgyűjtő		(5) Balaton együtt	
	ha	t/ha	ha	t/ha	ha	t/ha	ha	t/ha
a) Búza	16.514	3,4	7.920	4,5	16.920	4,3	41.354	3,98
b) Őszi árpa	6.545	3,4	2.995	3,9	3.350	3,8	12.890	3,62
c) Tavaszi árpa	5.941	2,5	250	3,0	1.100	3,5	7.291	2,67
d) Rozs+triticale	3.696	3,1	850	2,8	2.120	2,8	6.666	2,96
e) Zab	4.420	2,5	480	3,8	840	2,9	5.740	2,67
f) Kukorica	19.756	5,2	1.810	5,5	15.680	5,4	37.246	5,30
g) Napraforgó	4.058	1,6	1.450	1,9	4.950	2,0	10.458	1,83
h) Repce	2.286	1,9	1.600	2,2	1.980	2,2	5.866	2,08
i) Cukorrépa	1.520	28,4	-	-	640	33,2	2.160	29,94
j) Burgonya	1.108	16,9	-	-	640	14,5	1.748	16,02
k) Borsó	453	2,2	280	2,0	850	2,1	1.658	2,12
l) Zöldség	1.250	5,5	233	4,8	710	4,4	2.193	5,10
m) Silókukorica	4.424	19,4	385	20,0	3.830	22,0	8.639	20,58
n) Takarm. kev.	1.480	12,0	519	11,6	1.550	16,0	3.549	13,69
o) Lucerna	1.943	5,2	726	5,5	1.120	4,5	3.789	5,05
p) Vöröshere	594	3,8	65	4,3	80	3,9	739	3,86
r) Gyep(széna)	40.821	1,0	18.441	1,4	20.916	1,1	80.179	1,01
s) Szőlő	4.965	5,0	6.449	8,4	4.120	9,1	15.534	7,50
t) Gyümölcs	7.090	6,5	1.906	5,8	830	6,8	9.826	5,80

A földhasználati viszonyok és a vetésszerkezet viszonylagos változatlansága ill. a változtatások koncepciójának hiánya és nem megfelelő volta azt eredményezte, hogy a termelésből kikerült vagy más művelési ágban hasznosított, kivont területek nagy aránya (9,74 %) sem eredményezett a meliorációs talajpusztulásban jelentős eredményeket. Az erózióval elmozduló talaj évi mennyisége ebben az időszakban jöllehet 14,42 %-kal csökkent, azonban így is hatalmas mennyiséget (3 894 700 tonnát) tesz ki. Az 1 ha mezőgazdasági területre jutó mennyiség gyakorlatilag változatlanul 14,27 t. A részvízgyűjtőkben eltérően alakult a helyzet: az 1 ha-ra jutó termőtalaj-vesztesség a legnagyobb mértékben (13,78 t-ára) a nyugatiban csökkent; az északiban kisebb mértékben, itt 17,67 t/ha az érték, míg a déliben némiképpen növekedett (10,92 t/ha-ra). A P-vesztések alakulása azonos tendenciát mutat.

A javasolt optimalizált szerkezet

A futtatások harmadik idősfkjában olyan optimalizált struktúrát vizsgáltam, amelyben a modell valamennyi szerkezeti elemét az agronómiai realitások kezei között optimalizáltuk a fenntartható agrár-környezetgazdálkodás szempontjainak és igényeinek megfelelően (5. és 6. táblázat).

A vízgyűjtő távlati földhasználatát oly módon fogalmaztam meg, hogy az megfeleljen a jelenleg ismert legkorszerűbb agrár-környezetgazdálkodási elvárásoknak. Számításba vettem a racionális földhasználat lehetőségeit az arra predesztinált területek erdősfítésével, megegyezően az erre készült erdőszeti tanulmánnyal. A mezőgazdasági területek hasznosításában a szerkezet kialakításának döntő szempontja a környezeti hatások minimalizálásának igénye volt. A szántóterületek csökkenése mellett a vetésszerkezetben is figyelembe vettem a különböző növények talajvédő hatását, favorizálva a hosszú idejű, nagy fedettséget adó növényeket. Az állatállomány nagyságrendjeit és struktúráját elsősorban a környezetbarát félextenzív, extenzív gyephasznosítás lehetőségeihez igazítottuk.

Műtrágya-felhasználást eredendően nem terveztünk, miután a céloom pontosan az volt, hogy meghatározzam egy rendszeren belül a belső összefüggések vizsgálatával azt, hogy az általam meghatározott szerkezet milyen nagyságú külső tápanyag-inputot igényel az anyagforgalmi modell feltételrendszere mellett. A megoldó algoritmusba táplált szerkezeti és hozam, ill. egyéb input-output adatokkal végeztem el a számításokat műtrágya adatok nélkül. A modell tehát ebben a formájában arra szolgált, hogy az optimalizált struktúra tápanyag-ill. műtrágyaszükségletét határozza meg. A kapott eredmény negatív értékei jelentik tehát a leírt modell egyensúlyt feltételező műtrágya-hatóanyag igényét.

Az állatállomány nagyságrendjének és összetételének a meghatározásánál a terület állattartó képességéből indultam ki, maximálisan figyelembe véve a környezetbarát extenzív és félintenzív tartásmódok, valamint az új hasznosítási formák és állatfajok lehetőségeit is. Meghatározónak tekintettem az elsősorban legeltetési technológiájú szarvasmarhát, amelyből 24 000 tehénnel és szaporulatával számoltam.

A területhasználat intenzitását minősítő mutató, a 100 ha MMÖT-re jutó tehénlétszám így 8,79 db, ami a jelenlegihez képest 43,86 %-os növekedést jelent. A vízgyűjtő egészén a szarvasmarhalétszám fajlagosan 143,86 %-ra nőhet, míg a legmagasabb értéket – 10,12 tehén/100 ha MMÖT – adottságai folytán a nyugati vízgyűjtő tudja eltartani. Megjegyzendő, hogy ez az állatsűrűség a legintenzívebb 1985. évi értéknek még így is csupán 64,44 %-a. Új elemként vetjük figyelembe ezenkívül 4500 db legelőn tartott húsló és mintegy 10 000 db szarvas és dām vad gyephasznosító tartását. A környezeti szempontból sok gondot felvető sertésállománynál csekély (5,14 %-os) növekedéssel számoltam, almos tartást és kisebb koncentrációt feltételezve.

A művelési ágak változásainak elhelyezése és nagyságrendjeinek megállapítása oly módon történt, hogy az megfeleljen a talajvédelem vonatkozó igényei-

5. táblázat
A biogénanyag-forgalmi modell (optimalizált) adatai

(1) Megnevezés	(2)	(3)	(4)	(5)
	Nyugati	Északi	Déli	Balatoni vízgyűjtő együtt
vízgyűjtő				
A. Felhasznált műtrágya (t)				
Nitrogén (N)	8.033	3.220	6.685	16.455
Foszfor (P)	2.867	1.448	2.005	6.320
Kálium (K)	5.939	3.307	3.916	13.162
B. Állatállomány (db)				
a) Szarvasmarha (tehén)	15.000	3.000	6.000	24.000
b) Sertés	70.000	4.000	20.000	94.000
c) Ló (húsló)	2.500	1.800	2.200	6.500
d) Kiskérődző (juh, szarvas)	25.000	20.000	25.000	70.000
e) Baromfi	300.000	50.000	140.000	490.000
C. Pillangós terület (ha)				
f) Évelő	5.000	1.800	2.500	9.300
g) Egyéves	800	300	1.700	2.800
D. Mezőgazdaságilag művelt terület MMÖT (ha)	148.293	45.055	79.567	272.915
E. Lakosság létszáma (fő)	215.000	54.000	58.000	327.000
F. Főbb növények területe (ha)				
h) Búza	22.000	8.000	18.000	48.000
i) Árpa	13.000	3.300	4.500	20.800
j) Rozs + triticales	5.000	1.000	3.000	9.000
k) Kukorica	15.000	15.000	12.000	28.500
l) Napraforgó	5.000	1.500	5.000	11.500
m) Repce	5.000	1.500	2.500	9.500
n) Lucerna	4.000	1.300	2.000	7.300
o) Silókukorica	6.000	800	4.000	10.800
G. Eróziós talajvesztesség (t)	577.900	270.400	386.700	1235.000

nek. Így mezőgazdasági termelésből kivonandó 13 873 ha területen erdőtelepítéssel számoltunk, ami 4866 ha szántó kivonását is jelenti egyidejűleg.

A szántóterületen a vetésszerkezetben – az állattenyésztés lehetőségeivel összhangban – a pillangósok részarányának 5,55 %-ra történő növelésével számoltam. A gabonák közül a kalászosok részarányát növeltem (41,01 %) a kukorica rovására (17,2 %), a jobb talajvédő hatás érdekében. Az adottságokat is

figyelembe véve a nyugati vízgyűjtőben elsősorban az őszi árpa, míg a többiben a búza favorizálásával.

A végrehajtható szerkezeti és technológiai változtatások eredményeként jelentős mértékben csökkenthető az erózió mértéke. A prognosztizált talajvesztiséget – összhangban más számításokkal (AGROBER, 1996) – 1 235 000 tonna évi értékkel vettem figyelembe.

6. táblázat

Vetésterület/ha és termésátlagok (t/ha) a Balaton három vízgyűjtőn (Optimalizált)

(1) Megnevezés	(2) Nyugati vízgyűjtő		(3) Északi vízgyűjtő		(4) Déli vízgyűjtő		(5) Balaton együtt	
	ha	t/ha	ha	t/ha	ha	t/ha	ha	t/ha
a) Búza	22.000	4,0	8.000	4,5	18.000	4,3	41.354	3,98
b) Őszi árpa	7.000	3,5	2.800	4,0	3.300	3,8	12.890	3,62
c) Tavaszi árpa	6.000	3,0	500	3,5	1.200	3,5	7.291	2,67
d) Rózsa+triticales	5.000	3,2	1.000	3,5	3.000	2,8	6.666	2,96
e) Zab	5.000	3,0	500	3,0	1.000	2,9	5.740	2,67
f) Kukorica	15.000	5,5	1.500	5,0	12.000	5,4	37.246	5,30
g) Napraforgó	5.000	2,2	1.500	2,3	5.000	2,0	10.458	1,83
h) Repce	5.000	2,5	1.500	3,0	3.000	2,2	5.866	2,08
i) Cukorrépa	1.500	35,0	-	-	640	33,2	2.160	29,94
j) Burgonya	1.000	20,0	150	20,0	640	14,5	1.748	16,02
k) Borsó	800	2,5	400	2,5	850	2,1	1.658	2,12
l) Zöldség	1.400	6,0	500	5,3	710	4,4	2.193	5,10
m) Silókukorica	6.000	25,0	800	22,5	3.830	22,0	8.639	20,58
n) Takarm. kev.	2.000	18,0	600	16,0	1.550	16,0	3.549	13,69
o) Lucerna	4.000	6,0	1.300	6,0	1.120	4,5	3.789	5,05
p) Vöröshere	1.000	5,0	500	5,0	80	3,9	739	3,86
r) Fűveshere	3.000	4,0	600	4,0	20.916	1,1	80.179	1,01
s) Gyep(széna)	42.748	1,5	17.143	1,4	4.120	9,1	15.534	7,50
t) Szőlő	5.300	6,0	6.916	8,7	830	6,8	9.826	5,80
u) Gyümölcs	7.669	7,0	2.460	6,8				

Az anyagforgalmi mérlegek egyenlegei

A vázolt szerkezeteknek megfelelő modell a három részvízgyűjtőre és a teljes vízgyűjtőre készült el az ismertett időszakokban.

Az eredmények differenciált képet adnak az eltérő feltételek melletti biogén-anyag-forgalom jellemző értékeiről. A három időszak legfontosabb jellemzőit tömören összefoglalva a következő megállapításokat tehetjük. Az 1985. évi adatokkal jellemezhető intenzív szakaszban a mezőgazdasági területeket jelentős mennyiségű tápanyag hagyta el. Az 1995. évi – nagyon nagy visszaeséssel jellemezhető időszakban – minden általunk vizsgált anyag vonatkozásában a

mérleg negatívumot mutat. A célállapotot megfogalmazó modell azt igazolta, hogy a prognosztizált változások eredményeként lehetőség van egy egyensúlyi helyzet kialakítására.

Intenzív termelés (1985)

A mezőgazdasági területek inputja kerekén százezer tonna volt (100 073,060 t) az együttesen a vizsgált biogén anyagokból. Az NPK arány 1,00:0,56:0,80, ami azt jelenti hogy a bevitel 42,29 %-a nitrogén, 23,73 %-a foszfor és 33,98 %-a kálium. A fajlagos érték a mezőgazdasági terület minden ha-jára 314,96 kg tápanyag bevitelét mutatja. A vizsgált anyagokra vonatkozóan ez az érték 133,21 kg nitrogént, 74,74 kg foszfort és 107,01 kg káliumot jelentett.

A területet elhagyó tápanyagok mennyisége együttesen közel 80 %-a (79 611,951 t) volt a bevitelnek. Az összetétel arányai elsősorban a kálium vonatkozásában mutatnak eltérést pozitív irányban. Az NPK arány 1,00:0,48:1,09 és így a kivont összes tápanyagnak 38,98 %-a nitrogén, 18,57 %-a foszfor és 42,45 %-a kálium. Mindez ha-onként 97,66 kg nitrogén, 46,54 kg foszfor és 106,37 kg kálium kivonását jelentette.

Az egyenlegek valamivel több mint húszezer tonna többletet (20 461,650 t) mutatnak, aminek legnagyobb része nitrogén (55,19 %) ill. foszfor (43,79 %) és elenyésző mennyiségű (1,00 %) a kálium. A felhalmozódás mértéke tehát ha-onként 35,55 kg nitrogénnek, 28,20 kg foszfornak és 0,64 kg káliumnak felelt meg.

A modell input elemeinek súlyát vizsgálva megállapítható, hogy a bevitel vonatkozásában döntő tényező a műtrágyázás, amely a tápanyagok együttes mennyiségének 71,59 %-át adta. A foszfor részaránya ennél is nagyobb volt (81,18 %).

Istállótrágyából származott a biogén anyagok csaknem 1/4-e (22,37 %) és a foszfor 17,41 %-a.

A N-ellátásban a két legnagyobb forrás – műtrágya 67,61 %; istállótrágya 19,53 % – mellett a szimbiotikus (1,95 %) és nem szimbiotikus (4,50 %) N-fixáció érdemel említést. Érdekes, hogy a viszonylag magas pillangós részarány ellenére is a nem szimbiotikus megkötés bír nagyobb súllyal.

A mezőgazdasági területekről távozó anyagok vonatkozásában megdöbbentő, hogy az erózióval távozott mennyiség (36 405,80 t, 45,73 %) szinte teljesen azonos a terméssel kivont mennyiséggel (36 088,66 t, 45,33 %). A foszfor tekintetében ez az arány tovább romlik, hiszen a lemosódott talajjal a teljes foszfor output több mint fele (61,55 %-a) hagyja el a területet.

Alacsonyabb intenzitású termelés (1995)

Az input mennyisége igen jelentősen – az előző időszak inputjának mintegy 1/3-ára – csökkent egyrészt a műtrágyahasználat visszafogásával, másrészt az állatállomány nagymértékű csökkenése következtében. A bevitt tápanyag

együttesen 33 842,74 tonna volt, aminek 67,33 %-a nitrogén, 12,42 %-a foszfor és 20,12 %-a kálium. Láthatóan az arányok nagymértékben módosultak és egy irreális 1,00:0,18:0,30 NPK viszonzszámmal írhatók le. A területcsökkenés ellenére a fajlagos értékek hasonlóan változtak, összesen 118,01 kg/ha az együttes bevitel, amiből döntően a nitrogén (79,45 kg/ha) részesül, míg a foszfor aránya nem éri el a 10 %-ot sem (14,66 kg/ha), és a kálium is csupán 23,90 kg/ha értékkel volt jelen.

A lecsökkent termésvolumenek következtében a területről távozó anyagok mennyisége a korábbinak 80,78 %-ára mérséklődött. Természetesen a növények fiziológiás igényei érdemben nem változtak, így az outputok aránya és fajlagos mennyisége csak kis mértékben módosult. Az NPK arány 1,00:0,49:1,11, míg az 1 ha-ra jutó mennyiségekben 85,98 kg volt a nitrogén, 42,41 kg a foszfor és 95,85 kg a kálium.

Az előzőekből adódik, hogy a mérlegegyenlegek összességükben és anyagként is negatívak voltak. A legkisebb hiány a nitrogén vonatkozásában mutatkozott (ha-onként 6,53 kg-mal), amit az eredményezett, hogy a műtrágya-felhasználásban itt volt a legkisebb a visszaesés. A foszforból 27,75 kg/ha, míg a káliumból 71,36 kg/ha hiány mutatkozott.

A bevitel mindkét meghatározó tényezőjében rendkívüli mértékű csökkenés volt, ami magyarázza a mérleg eredményeket. A műtrágya-felhasználás az összes hatóanyagban 29,87 %-ára csökkent az 1985. évinek. Az összetétel változása pedig azt eredményezte, hogy legkevésbé csökkent a nitrogén (54,70 %-ra), és lényegesen jobban, csaknem azonos mértékben a foszfor (13,14 %-ra) és a kálium (13,52 %-ra) mennyisége. Mindehhez adódik az állatállomány kevesebb, mint felére való csökkenése – szarvasmarhalétszám 40,40 %-a, sertés 44,87 %-a az 1985. évinek – ami elsősorban a K-ellátásban fokozta a hiányt. A szerves trágya az összes biogén anyag inputban szinte változatlan részarányt képviselt. A megváltozott arányok miatt viszont a foszfornak már kereken az 1/3-a (33,59 %) származott a lecsökkent állatállománytól. A pillangós vetésterület a korábbinak 1/3-ára (34,93 %) csökkent, azonban a nem szimbiotikus kötés meghatározó részaránya azt eredményezte, hogy a N-kötés együttes volumene nagyobb részarányt (8,3 %) képvisel az inputban, mint korábban.

A már vázolt változatlan térszerkezet és használati mód következtében a táblát elhagyó eróziós hordalék változatlanul meghatározó volt, sőt a termésátlagok csökkenése következtében részaránya tovább nőtt és immár az összes mennyiség majdnem felét (48,47 %-át) jelentette. A foszfor tekintetében ez az arány csaknem 2/3-os (64,04 %).

A javasolt optimalizált szerkezet

A modell konstrukciója a ciklusban résztvevő anyagok mennyiségét az intenzív 1985. évi értékeknek alig több mint a felére csökkentette (52 435 t NPK), az 1995. évi mélyponthoz képest azonban mintegy 1/3-ával növelte mi-

közben átrendezte mind a beviteli és különösen pedig a kiadási oldalát a mérlegnek, annak egyidejű egyensúlya mellett.

A bevitt tápanyagok aránya normalizálódott, ami azt jelenti, hogy az NPK arány beállt (1,00:0,31:0,66) és a mérlegben a nitrogén 50,66 %-kal, a foszfor 15,86 %-kal és a kálium pedig 33,48 %-kal szerepel. A fajlagos értékek hasonló arányokat mutatnak – 97,34 kg N, 30,48 kg P, 64,31 kg K – a dolgok természetéből adódóan (egyensúlyi állapot) mindkét oldalon.

Az input oldalon a számított műtrágyaigény a teljes bevétel 72,55 %-át jelenti a jelenlegi 63,23 %-kal szemben, míg a szerves trágya-eredetű biogén anyagok az összes mennyiség 17,62 %-át teszik ki a 22,54 %-os 1995. évi részarányhoz szemben. A tápanyagok közül a kálium és foszfor 75,00 ill. 75,99 %-a származik műtrágyából és a nitrogénnek 69,85 %-a. A szerves trágyának viszont nagyobb a jelentősége a kálium (23,40 %) és a foszfor (20,57 %) bevétele szempontjából és kisebb a jelentősége a N-forgalomban (12,88 %). A szerves trágyából származó tápanyagbevétel abszolút mennyiségben a jelenlegihez képest több mint 1/5-ével nő (121,15 %) annak ellenére, hogy részaránya csökkent.

A N-fixáció vonatkozásában az élő pillangósok területének duplázódása eredményezi a növekedést, míg a nem szimbiotikus megkötésből származó mennyiség a terület csökkenésével arányosan kisebb.

Az output struktúrájában döntően az erózióval távozó biogén anyagok mennyisége csökkent a jelenlegi érték 1/3-ára (31,71 %) és ezzel a terméssel kivont tápanyagok részaránya jelentősen megnőtt. Korábban az eróziós veszteségek valamivel nagyobb részét tették ki a kiadási oldalnak, míg a hatékony talajvédő struktúrák és technológiák hatására ez az arány a számítások szerint jelentősen módosítható (18,84 % erózióból és 70,08 % terméssel kivonva). A kimosódás volumene 6 %-kal (94,07 %-ra) csökkenthető, miközben részaránya némiképp növekszik (10,99 %-ra).

A három időszakban valamennyi vízgyűjtőben azonos tendencia érvényesült, mely szerint az intenzív termelés mellett pozitív egyenleg keletkezett, a jelenlegi anyagforgalom erősen deficit, míg a tervezett közelít az egyensúlyi állapothoz.

Az output tényezők belső arányai azt mutatják, hogy a betakarított terméssel közel azonos mennyiségű biogén anyag kerül ki a rendszerből mint a felszíni erózióval, míg a további outputok kisebb jelentőségűek. Az erózióval lemosódó anyagok környezeti jelentőségét fokozottan kiemeli az, hogy egyfelől ez a kizárólagos forrása a vízszennyezésnek, másfelől ez reagál a légérzékenyebben, jelentős csökkenéssel a szerkezeti változásokra.

Következtetések, javaslatok

A mezőgazdasági területek belső biogénanyag-forgalmának és a ciklusok külső leágazásainak szimulálására létrehozott számítógépes anyagforgalmi modell működőképes. Módszertanilag sikerült a vizsgálatokban biztosítani a komplexitást, a rendelkezésre álló és felmérhető adatok ill. a területre adaptált kísérletes eredmények egy modellben történő alkalmazásával. Az anyagforgalmi viszonyokat meghatározó tényezők (természeti, szerkezeti, technológiai adottságok) és a transzformáció paramétereit meghatározó kísérletek eredményei együttesen reális, a valós viszonyokat jól leképező modellt eredményeztek.

A modell segítségével meghatároztuk a biogén anyagoknak a Balaton jellegzetesen eltérő adottságú három vízgyűjtő területére (Nyugati, Északi, Déli) és a teljes vízgyűjtőre vonatkozóan a legfontosabb biogén anyagok mérlegeit három jellemző termelési szerkezetet és intenzitást reprezentáló adatbázissal (1985, 1995, Optimalizált). Az eredmények lehetőséget nyújtanak a területek terhelhetőségét megítélő parametrizálásra.

A modell modul rendszerben alkalmas a feldolgozott három vízgyűjtő további bontására és a 9 rész- ill. 101 kisvízgyűjtő kezelésére, amely lehetővé teszi a modulokat alkotó panelek változása esetén azok módosítását, cseréjét és ezzel az egész rendszer dinamizálását, folyamatos aktualizálását.

Megállapítható, hogy a mezőgazdasági területek anyagforgalmából két döntő leágazáson át távozik a vizsgálat szempontjából legfontosabb elem, a foszfor: a betakarított és elszállított terményekben, valamint az eróziós talajvesztéssel. A modell jól szimulálja a két jelentősen eltérő input által determinált időszak – az 1985. évvel jellemzett intenzív, és a kis pótlólagos ráfordításokkal működő '90-es éveket reprezentáló 1995. évi – P-forgalmát a vízgyűjtőkben. Az anyagforgalom inputjában bekövetkezett nagyságrendi visszaesés mellett az output csak kismértékben változott a vizsgált időszakban miután az eróziós veszteségek vonatkozásában nem történt érdemi változás.

A környezetvédelmi, vízvédelmi szempontból legfontosabb biogén elem – a foszfor – kikerülése a mezőgazdasági területekről alapvetően talajvédelmi beavatkozásokkal csökkenthető és a tápanyag-gazdálkodásban elérhető csökkentés e vonatkozásban másodlagos jelentőségű.

Összefoglalva megállapítható, hogy a rendszerváltozással átstrukturálódó mezőgazdaságban kialakult a korábbiaktól jelentős mértékben eltérő tulajdonosi és termelési szerkezet, ami alapvetően befolyásolta az alkalmazott technológiák kemizálási, biológiai és technikai elemeit. Az anyagforgalomban módosultak a transzfer pályák és az input–output viszonyok határfokában ill. volumenében változás következett be.

A biogén elemek fokozódó mobilizálódásának trendjét némiképpen megtörte a termelés intenzitásának mérséklődése, a homogén nagyméretű táblák monokultúrás hasznosításának visszaszorulása, a vízfolyások menti gyepek meliorációt követő feltörésének elmaradása, a jelentős és elsősorban lejtős terü-

leteken kialakult parlagterületek védő hatása, az állatállomány nagy mértékű – elsősorban nagyüzemi telepeken bekövetkezett – csökkenése, azonban az eróziós talajleomosódás volumene, s így a P-elmozdulás volumene érdemben nem csökkent.

A mezőgazdasági területek biogénanyag-forgalmának, a transzmissziós csatornáknak és transzport volumeneknek a vizsgálatával, valamint a szakirodalom ismereteinek felhasználásával és a gyakorlati tapasztalatok kritikai elemzésével kerültek megfogalmazásra azok a lehetőségek, amelyek biztosíthatják a Balaton P-terhelésének közvetlen és közvetett csökkentését. Az eredményes beavatkozás komplex megközelítést igényel. A lehetséges és szükséges beavatkozásokat a területhasznosítás, a termelésszerkezet, a talajvédő agrotechnika, a melioráció, a szabályozás és tudatformálás területén kell meghatározni.

Irodalom

- ANTAL J. et al., 1979. Műtrágyázási irányelvek és üzemi számítási módszer. MÉM Növényvédelmi és Agrokémiai Központ. Budapest.
- CSATHÓ P., 1994. Magyarországi talajok NPK-mérlegei 1990-ben és 1991-ben. Növénytermelés. 43. 551–561.
- DEBRECZENI I., 1978. Fontosabb szántóföldi növényeink és gyepek területeink nitrogén mérlege. Növénytermesztés. 27. 269–273.
- DEBRECZENI B., 1987. A magyar mezőgazdaság NPK mérlege. Nemzetközi Mezőgazdasági Szemle. (2-3) 150–153.
- DEBRECZENI B. & DEBRECZENI B.-NÉ (Szerk.) 1994. Trágyázási kutatások 1960–1990. Akadémiai Kiadó. Budapest.
- DEBRECZENI B. & SISÁK I., 1990. A mezőgazdasági eredetű nem pontszerű terhelés vizsgálata a tápanyag mérleg módszerével. Zárójelentés, OKTH VI/1-7-112. Keszthely.
- GYÓRI D., 1984. A talaj termékenysége. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
- ISERMANN, K., 1990. Die Stickstoff und Phosphor Einträge in die Oberflächengewässer der Bundesrepublik Deutschland durch verschiedene Wirtschaftsbereiche unter besonderer Berücksichtigung der Stickstoff und Phosphor Bilanz der Landwirtschaft und der Humanernährung. Schriftenreihe der Akademie Tiergesundheit. 1. 358–413. Verlag der Ferberschen Universitätsbuchhandlung. Bonn.
- JOÓ, O., 1980. Data of eutrophication of lake Balaton and considerations related to control activities. Force meeting on lake Balaton modelling. MTA VEAB Veszprém.
- HERODEK, S. et al., 1995. The P cycle in the Balaton catchment – a Hungarian case study. In: Scope 54. „Phosphorus in the Global Environment - Transfers, Cycles and Management.” (Ed.: TIESSEN, H.) 275–300. John Wiley & Sons. Chichester–New York–Brisbane–Toronto–Singapore.
- HORVÁTH J. (Szerk.), 1996. A Balaton vízgyűjtő környezetvédelmi szempontokat figyelembe vevő térségi meliorációs tervének felülvizsgálata. AGROBER. Budapest.

- HORVÁTH V. & KAMARÁS M., 1980. Mezőgazdasági eredetű tápanyagterhelés talajvédelmi eljárásokkal történő csökkentése lehetőségének vizsgálata a Balaton vízgyűjtőjén. MTA Biológiai Kutató Intézet. Tihany.
- KÁDÁR I., 1979. Földművelésünk nitrogén, foszfor és kálium mérlege. *Agrokémia és Talajtan*. 28. 527–544.
- KÁDÁR I., 1987. Földművelésünk ásványi tápanyag forgalmáról. *Növénytermelés*. 36. 517–526.
- KÁDÁR I., 1992. A növénytáplálás alapelvei és módszerei. MTA Talajtani és Agrokémiai Kutató Intézete, Budapest.
- KÖSTNER, J. et al., 1988. Stickstoff- Phosphor- und Kaliumbilanzen Landwirtschaftlich Genutze Böden der Bundesrepublik Deutschland von 1950–1986. Landwirtschaftliche Untersuchungs und Forschungsanstalt. Hameln.
- LENDVAI Z. et al., 1983. Környezetvédelmi vizsgálatok a Zala vízgyűjtőjén 1982–1983. Zala megyei Növényvédelmi és Agrokémiai Állomás. Zalaegerszeg.
- LÁNG I. (Szerk.), 1985. A biomassza hasznosításának lehetőségei. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
- MARKÓ A., 1986. Somogy megye tápanyagmérlegének és talaj tápanyagvizsgálati eredményeinek elemzése. Doktori disszertáció. Keszthely.
- MARKÓ A., 1987. Somogy megye agrárökológiai tájegységeinek NPK mérlege. Melioráció - öntözés és tápanyaggazdálkodás. 2. 72–79.
- MARTON I., 1990a. A termelés fejlesztését és a környezet védelmét egyaránt szolgáló ágazati struktúra kidolgozása a Balaton vízgyűjtő jellegzetes mezőgazdasági területein. Kutatási zárójelentés. OKKFT G-10. Keszthely.
- MARTON I., 1990b. Korszerű kistráfordítást igénylő talajvédelmi meliorációs eljárások kialakítása a tápanyagterhelés és feltöltődés csökkentésére. A G-10 jelű OKKFT program keretében végzett balatoni kutatások. Környezetgazdálkodási Kutatások. 5. 43–70.
- MARTON I., 1997. Anyagforgalmi modell a Balaton biogén anyagaira. In: XI. Országos Környezetvédelmi Konferencia, Siófok. 304–313.
- MARTON, I. & DÉR, F., 1997. Possibilities for sustainable land utilisation at the catchment of lake Balaton. In: Proc. V. International Symposium. Záhreb. 95–101.
- MARTON, I. & DÉR, F., 1998. Sustainable land utilisation by grassland at the catchment of lake Balaton. In: Ecological Aspects of Grassland Management – 17th Congress of the European Grassland Federation, Debrecen. 17. 567–573
- MINEEV, V. G., 1988. Agrokémia és környezetvédelem. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
- NÉMETH, T., 1995. Nitrogen in Hungarian soils – nitrogen management in relation to groundwater protection. *Journal of Contaminant Hydrology*. 20. 185–208.
- NÉMETH T., 1996. Talajaink szervesanyag-tartalma és nitrogénforgalma. MTA Talajtani és Agrokémiai Kutató Intézete. Budapest.
- PUSZTAI A., 1978. Intenzív műtrágyázás és környezetszennyezés. *Agrokémia és Talajtan*. 27. 219–227.
- ROBERTS, G., 1987. Nitrogen inputs and outputs in a small agricultural catchment in the United Kingdom. *Soil Use and Management*. 3. (4)
- SARKADI J., 1975. A műtrágyaigény becslésének módszerei. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.

- SARKADI J., 1979. Az intenzív tápanyagellátás hatása a talaj termékenységre. In: Az intenzív műtrágyázás hatása a talaj termékenységre (Ankét) MTA TAKI, Budapest.
- SISÁK I., 1993. Mezőgazdasági eredetű nem pontszerű terhelés vizsgálata a tápanyagmérleg módszerével a Balaton nyugati vízgyűjtőjében. Kandidátusi értekezés. Keszthely.
- SOMLYÓDI L., 1983. A Balaton eutrofizálódása. VITUKI Közlemények. 38. 1–63.
- TÓTH A., 1984. A melioráció és a környezetvédelem. A Balaton-kutatás újabb eredményei III. VEAB, Veszprém.
- WOODS, L. E. et al., 1983. Nutrient Cycling in a Southeastern United States Agricultural Watershed. Nutrient Cycling in Agricultural Ecosystems. University of Georgia. Special Publication. No. 23.

Érkezett: 1999. október 1.

Studies on the Cycles of Biogenic Elements on Agricultural Areas in the Watershed of Lake Balaton

I. MARTON

Ministry of Agriculture and Rural Development, Budapest

Summary

The various types of intensive agricultural production carried out on the three watershed areas of Lake Balaton, each of which has different properties, have a significant effect on the quality of the water in the lake.

A material balance model was constructed to describe the biogenic element cycles on the agricultural areas. Compared to the relevant models reported in the literature, the present model concentrates on nutrient losses, rather than on nutrient utilization.

The main conclusions and recommendations were as follows:

The computerized material balance model created for the simulation of the internal biogenic element cycles of agricultural areas and the external branches of the cycles functions well. Complexity was successfully incorporated into the methodology, enabling the available and measurable data, as well as experimental results adapted to the area to be used in the same model. The factors determining material balance relationships (natural, structural and technological factors) and the results of experiments determining the transformation parameters resulted together in a realistic model providing a good reflection of the real situation.

With the help of the model, balances were prepared for the major biogenic elements in the three characteristically different watershed areas (Western, Northern and Southern) of Lake Balaton and for the watershed as a whole using databases representing three characteristic production structures and intensities (1985, 1995, optimized). The results facilitate the setting up of parameters to estimate the pollution tolerance of the areas.

In a module system the model is suitable for the further resolution of the three watershed areas and for the handling of 9 meso- and 101 microwatershed areas, so that the panels making up the modules can be modified or exchanged if changes occur, thus making the whole system dynamic and continually up-to-date.

It was found that phosphorus, the most important element in the study, was removed from the mass transport of the agricultural areas with the harvested products, and in the form of erosive soil losses. The model provides a good simulation of the phosphorus cycle in the watershed during two periods which were very different as regards inputs: in 1985 inputs were very intensive, while in the nineties very little fertilizer was applied. While there has been an enormous drop in the input of the material balance, the output only changed to a slight extent during the period studied, since no great change has occurred with respect to erosion losses.

The introduction of phosphorus, the most important biogenic element from the point of view of environment and water protection, originating from agricultural areas can best be reduced by means of soil protection measures, while the reduction which can be achieved in nutrient management is of secondary importance.

Table 1. Data used in the biogenic element balance model (1985). (1) Designation. A. Fertilizer applied, t. B. Animal stocks: a) cattle (cows); b) pigs; c) horses (for meat); d) small ruminants (sheep, deer); e) poultry. C. Leguminous area, ha. f) perennial; g) annual. D. Agricultural areas, ha. E. Population. F. Area of major crops, ha. h) wheat; i) barley; j) rye + triticale; k) maize; l) sunflower; m) rape; n) alfalfa; o) silage maize. G. Erosive soil losses, t. (2) Western watershed. (3) Northern watershed. (4) Southern watershed. (5) Whole Balaton watershed.

Table 2. Sowing areas (ha) and yield averages (t/ha) in the three watershed areas of Lake Balaton (1985). (1) Designation. a) wheat; b) winter barley; c) spring barley; d) rye + triticale; e) oats; f) maize; g) sunflower; h) rape; i) sugarbeet; j) potatoes; k) peas; l) vegetables; m) silage maize; n) mixed fodder crops; o) alfalfa; p) red clover; r) grassland (hay); s) vines; t) orchards. (2)–(5): see Table 1.

Table 3. Data used in the biogenic element balance model (1995). (1)–(5): see Table 1.

Table 4. Sowing areas (ha) and yield averages (t/ha) in the three watershed areas of Lake Balaton (1995). (1)–(5): see Table 2.

Table 5. Data used in the optimized biogenic element balance model (optimized). (1)–(5): see Table 1.

Table 6. Sowing areas (ha) and yield averages (t/ha) in the three watershed areas of Lake Balaton (optimized). (1)–(5): see Table 2.